

## **REFORMULACIÓN DEL SISTEMA DE MANEJO DE RESIDUOS IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**

Susana Jacob, Máximo Menna, Gloria Plaza<sup>1</sup>, Osvaldo Pacheco<sup>1</sup>, Julio Branda, Guillermo Murcia  
Grupo de Estudio de Energías Alternativas y Ambiente  
Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Mar del Plata  
Juan B. Justo 4303 – CP: 7600 – Mar del Plata – Argentina  
TE: +54 223 81-6600 – FAX: +54 223 81-0046  
[mamenna@fi.mdp.edu.ar](mailto:mamenna@fi.mdp.edu.ar) - [sujacob@fi.mdp.edu.ar](mailto:sujacob@fi.mdp.edu.ar)

### **RESUMEN**

Este trabajo se enmarca en el Proyecto “Estudio de una solución integral para la minimización, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos domiciliarios de la Ciudad de Mar del Plata”.

Se determinaron para cada sistema analizado los residuos sólidos generados, costos de combustible en recolección y transporte, emisiones al aire, agua y tierra, recuperación y ahorro energético por el reciclado de materiales y tratamiento biológico.

Los resultados del trabajo permitieron actualizar y adoptar las mejores opciones a las necesidades y prioridades para la ciudad de Mar del Plata, teniendo en cuenta la regulación del relleno sanitario y la reducción de las emisiones

*Palabras claves:* Residuos Sólidos, Gestión Integral, Efecto Invernadero

### **ANTECEDENTES**

Mediante un Convenio entre la Universidad Nacional de Mar del Plata y el Municipio de Gral. Pueyrredon se determinó la generación diaria y por persona de los residuos domiciliarios y sus partes componentes. (Menna et al, 2001)

La Caracterización de la fracción orgánica del residuo sólido domiciliario de la ciudad de Mar del Plata permitió diseñar su tratamiento biológico (Plaza et al 1998)

Los dos estudios anteriores fueron la base de datos confiables para diseñar un Programa de Gestión Integral de Manejo de Residuos para ser implementado en tres barrios de la Ciudad de Mar del Plata que representa el 10 % de la población total. El Programa de Clasificación y Reciclado (ProCyR) incluye: reducción, reuso, reciclado, tratamientos de la fracción orgánica y disposición final en relleno sanitario. (Jacob y Menna, 2002)

A través de una Audiencia Pública Consultiva no Vinculante en la que se expresó la ciudadanía, el ProCyR fue incorporado a los Pliegos de Bases y Condiciones para la Licitación de la Recolección y para la Disposición Final de residuos sólidos domiciliarios y asimilables del Partido de Gral. Pueyrredon. Problemas relacionados en principio con el síndrome de NINBY y posteriormente con las características del terreno para la disposición final, derivaron en la intervención judicial y la negativa de emitir el Certificado de Aptitud Ambiental por parte de la ex-Secretaría de Política Ambiental de la Prov. de Buenos Aires. que dejó sin efecto dichas Licitaciones.

En la actualidad se está preparando un nuevo pliego para licitar nuevamente incluyendo la previa expropiación de un terreno adecuado a los requerimientos de la norma provincial, con el objeto de encontrar una rápida solución para la acuciante problemática ambiental y social que representa el enterramiento del 100% del residuo generado sin tratamiento alguno.

En este trabajo se compararon las distintas opciones de gestión para el manejo de los residuos sólidos domiciliarios.

---

<sup>1</sup> Docente-investigador de la Facultad de Ingeniería UNSa.

## METODOLOGÍA

### *Sistema de manejo integral de residuos*

El sistema de manejo de residuos debe estar basado en el concepto de desarrollo sustentable. El desarrollo sustentable busca satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas. Los elementos esenciales del desarrollo sustentable, incluyen la prevención de la contaminación, la conservación de los recursos, la igualdad ambiental, la salud humana y el mantenimiento de la estructura y la función del ecosistema.

Un manejo integral de residuos debe tener en cuenta la cantidad de residuos que se produce y la composición de los mismos, las metodologías que permiten disminuir el volumen de residuo a disponer, rehusando y/o reciclando los mismos; distintos tratamientos para las fracciones componentes y disposición ambientalmente adecuada.

En este trabajo se analizaron tres Sistemas de Manejo de Residuos a ser comparados con el propósito de predecir la performance ambiental: residuos a disponer, emisiones y ahorro energético.

- Sistema 1: El sistema actual.
- Sistema 2: El ProCyR.
- Sistema 3: Adaptación del ProCyR a las condiciones actuales.

Etapas de análisis del Sistema de Manejo de residuos a evaluar:

- A.- Generación de Residuos Sólidos Domiciliarios
- B.- Separación y Recolección
- C.- Recuperación de Materiales
- D.- Tratamientos Biológicos
- E.- Relleno Sanitario

#### *Sistema 1*

El sistema actual de manejo que se realiza en la Ciudad de Mar del Plata consiste en la recolección puerta a puerta de todo el residuo domiciliario generado sin separación alguna. La recolección se realiza en camiones compactadores, durante todo el año con frecuencia 6.

El residuo es llevado a un basurero a cielo abierto sin tratamiento alguno y con cobertura no diaria. No posee recolección ni tratamiento de lixiviado y tampoco recolección de biogás generado.

- A.- Con los datos del Muestreo realizado en 1997 se estimaron los pesos totales de residuos que entran en el sistema, provenientes de las viviendas como residuo generado por sus habitantes. No se tienen en cuenta los residuos comerciales, ni escombros, ni residuos de poda que componen el 50% de los residuos que llegan al basurero.
- B.- No se realiza separación alguna de los residuos.  
Se estimó el gasto de combustible de acuerdo a número de viajes/día y frecuencia de recolección.
- C.- No se realiza recuperación de materiales componentes. Se estima el ahorro energético que se lograría al reciclar cada componente del residuo.
- D.- No se realiza tratamiento alguno.
- E.- El residuo total es enterrado directamente. Se determinaron los pesos de residuos enterrados, total y por fracción. Se estima el biogás generado y el lixiviado generado desde la fracción orgánica.

#### *Sistema 2*

El ProCyR es un Programa integral de manejo de residuos que incluye reducción en origen, reuso, reciclado, transformación de residuos y por último disposición final.

Este programa está sustentado en una campaña de educación y concientización.

- A.- El ProCyR es implementado en tres barrios de la Ciudad de Mar del Plata que sumados componen el 10% de la población total. El residuo es clasificado en origen, esto es en las viviendas, en dos grupos: orgánico e inorgánicos que son depositados en dos bolsas de diferentes colores en los cestos ubicados en la vereda de las viviendas. Adicionalmente los materiales con valor de mercado: vidrio, papel+cartón, y plástico será depositado en contenedores callejeros ubicados en las esquinas separados 200 metros entre grupos de contenedores. Se calculan los pesos totales y por fracciones que son recolectados.
- B.- La recolección de orgánico e inorgánico es con frecuencia 6. Los residuos de los contenedores son de recolección semanal. Se estiman costos de combustible de acuerdo a viajes por día. Los residuos son enviados al relleno sanitario para una segunda selección centralizada.
- C.- Los materiales acondicionados son vendidos. Se estima por fracción los residuos con valor que se encuentran en condición de ser vendidos. Se estima el ahorro energético que se lograría al reciclar cada componente del residuo.
- D.- El residuo orgánico al llegar al relleno sanitario se lo acondiciona para ser tratado biológicamente. Se calcula el peso de materia orgánica que será tratada. Se calcula la producción de biogás que representa el desprendimiento que se evita como contribución al calentamiento global.

E.- Prevé un relleno sanitario para disponer adecuadamente el resto de los residuos no aprovechables, con adecuada impermeabilización, recolección de lixiviado y su tratamiento.

### Sistema 3

Este sistema se trata de un ajuste y actualización del Sistema 2, adecuándolo a las condiciones socioeconómicas y de seguridad actuales. Se realizó un nuevo muestreo de los residuos para determinar la evolución de generación de los mismos, teniendo como base los datos obtenidos en el año 1997 a partir de los cuales se diseñó el ProCyR.

A.- Este nuevo sistema es implementado en los mismos barrios que el ProCyR. El residuo es clasificado en origen, esto es en las viviendas, en dos grupos: orgánico e inorgánicos que son depositados en dos bolsas de diferentes colores en los cestos ubicados en la vereda de las viviendas. Por razones de índole económica y de seguridad en cuanto a sustracción de los materiales depositados y/o destrucción de los contenedores por parte de recolectores informales cuyo número a crecido notablemente, no se utilizarán los mismos para la recolección de los materiales con valor de mercado. Dichos residuos serán recolectados en la bolsa de materiales inorgánicos y se separarán en forma centralizada en el predio de disposición final. Se calculan los pesos totales y por fracciones.

B.- La recolección de las bolsas de orgánico e inorgánico es con frecuencia 6. Se estiman costos de combustible de acuerdo al número de viajes/día. Los residuos inorgánicos son clasificados en la Planta de segunda selección en el relleno sanitario.

C.- Los materiales acondicionados son vendidos. Se estima por fracción los residuos con valor que se encuentran en condición de ser vendidos. Se estima el ahorro energético que se lograría al reciclar cada componente del residuo.

D.- El residuo orgánico al llegar al relleno sanitario se lo acondiciona para ser tratado biológicamente. Se calcula el peso de materia orgánica que será tratada. Se calcula la producción de biogás que se obtiene que representa el desprendimiento que se evita como contribución al calentamiento global.

E.- Prevé un relleno sanitario para disponer adecuadamente el resto de los residuos no aprovechables, con adecuada impermeabilización, recolección de lixiviado y su tratamiento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los valores obtenidos de peso total y de cada fracción componente del residuos sólido domiciliario de la ciudad de Mar del Plata. Para el Sistema 1 los datos son los totales de la ciudad, para el Sistema 2 son los residuos de los tres barrios seleccionados en el ProCyR y para el Sistema 3 se trata de los datos actuales y se tienen en cuenta las modificaciones en los métodos del ProCyR original.

GENERACIÓN DE RESIDUOS														
Sistema	Población	Orgánico		Papel		Vidrio		Plástico		Metal		Otros		Total
	Nº Habits.	Ton/día	%	Ton/día	%	Ton/día	%	Ton/día	%	Ton/día	%	Ton/día	%	Ton/día
1	700.000	205,7	58,8	34,3	9,8	32,5	9,3	26,3	7,5	11,2	3,2	40	11,4	350
2	70.000	20,6	58,8	3,4	9,8	3,3	9,3	2,6	7,5	1,1	3,2	4,0	11,4	35
3	70.000	19,1	60,7	2,8	9,1	3,0	9,1	1,9	6,3	1,0	2,9	3,7	11,9	31,5

Tabla 1: Residuos generados para cada sistema evaluado

Los datos muestran una disminución en la generación del total de los residuos y una variación porcentual de su composición, que se considera producto de la actual situación socio-económica luego de la devaluación de la moneda Argentina y en la cual se basan los siguientes comentarios.

La disminución en la fracción plástico se debe al cambio en los materiales de envases, tanto en disminución de la cantidad y tipo de material por parte del productor en la fabricación de los mismos, como el forzado cambio en el consumo por parte de la población.

La disminución de la fracciones vidrio y papel se debe a la mayor existencia de recolectores informales tanto individuales como instituciones benéficas, así como también a su menor consumo por parte de la población.

Debido a la disminución de las fracciones con valor de mercado existe mayor porcentaje del componente orgánico.

En la Tabla 2 se muestra el consumo de energía térmica neta (combustible) y su costo como insumo para cada sistema. La diferencia entre el sistema 2 y 3 se debe a la ausencia de contenedores callejeros para recolectar las fracciones con valor de mercado. La incidencia no es importante al considerar la implementación del ProCyR en sólo 3 barrios, pero sí es para tener en cuenta en una futura ampliación del área afectada.

COSTO DE COMBUSTIBLE EN RECOLECCIÓN				
Sistema	Nº Habitantes	\$/viaje	Viajes/día	Total \$/día
1	700.000	73,67	35	2578,45
2	70.000	73,67	4	294,68
3	70.000	73,67	3	221,01

Tabla 2: Costo de combustible en la recolección de los residuos.

El reciclado de las fracciones ofrece ventajas ambientales y energéticas. Cada fracción componente del residuo domiciliario separada en origen posee un potencial de ahorro energético y de recursos al considerarse su reciclado.

En la Tabla 3 se muestran los pesos de cada componente de los residuos sólidos domiciliarios que se evitarían disponer en cada sistema si se los recolectara y acondicionara para su venta (posterior reuso o reciclado). Los datos de la Tabla 3 están sujetos al rendimiento en la separación en origen y al de la segunda selección centralizada. Así si se lograra un rendimiento óptimo, el material recuperado resultaría aproximadamente el 30%.

MATERIALES PARA LA VENTA											
Sistema	Población	Papel		Vidrio		Plástico		Metal		Total	
	Nº Habits.	Ton/día	%	Ton/día	%	Ton/día	%	Ton/día	%	Ton/día	%
1	700.000	34,3	9,8	32,5	9,3	26,3	7,5	11,2	3,2	104,3	29,8
2	70.000	3,4	9,8	3,3	9,3	2,6	7,5	1,1	3,2	10,4	29,8
3	70.000	1,4	9,1	1,5	9,1	0,9	6,3	0,5	2,9	4,3	27,4

Tabla 3: Peso de materiales recuperados para cada Sistema.

En la Tabla 4 se muestra el ahorro energético que se lograría al reciclar las fracciones papel, vidrio, plástico y metal.

RECUPERO DE MATERIALES Y AHORRO ENERGÉTICO						
Sistema	Sistema 1		Sistema 2		Sistema 3	
	Ton.día <sup>-1</sup>	KWh.día <sup>-1</sup>	Ton.día <sup>-1</sup>	KWh.día <sup>-1</sup>	Ton.día <sup>-1</sup>	KWh.día <sup>-1</sup>
Papel	34,3	52.136,6	3,4	5.213,7	1,4	2.128,1
Plástico	26,3	8.692,5	2,6	869,3	0,9	297,5
Vidrio	32,5	579.101,0	3,3	58.801,0	1,5	26.728,0
Metales	11,2	78.098,4	1,1	7.809,8	0,5	3.486,5

Tabla 4: Potencial ahorro energético al reciclar las fracciones para cada sistema.

Para la fabricación de una tonelada de papel se requiere 2.000 Kg. de bagazo y 7600 KWh de energía, 100 a 200 Kg. de fibra de madera, 150.000 litros de agua, caolín, sulfato de aluminio, antiespumante, blanqueador, etc. Al reciclar se reduce un 60% de consumo de agua, un 20% de consumo de energía eléctrica y un 60% de generación de contaminantes. (Waite, 1995)

De la fracción papel se recolectarían 34.300 Kg. por día, al reciclarlo se ahorrarían 52.136 KWh por día. En el sistema 3 se ahorrarían 2.128,1 KWh por día.

El consumo energético en la fabricación del plástico virgen varía según el tipo del mismo entre 1,7 y 2,5 TEP por Ton de plástico. Para la fabricación de granza, producto del reciclado varía entre 0,08 y 0,17 TEP por ton, reduciendo el consumo de agua y produciendo menores sustancias tóxicas que para el pellets o granza virgen. (Muñoz Sánchez, 1980)

De la fracción plástico se recolectarían 26.300 Kg. por día, que se deben acondicionar para su posterior reciclado y se ahorrarían 8692,5 KWh por día. En el sistema 3 se ahorrarían 297,5 KWh por día.

En la fabricación de una tonelada de vidrio se consumen 603 Kg. de arena, 196 Kg. de cloruro de potasio, 196 Kg de cal, 68 Kg de feldespato, 44.545 KWh de energía; y se generan 174 Kg de desechos y 13 Kg de contaminantes del aire. (DelVal, 1993)

De la fracción vidrio se recolectarían 32.500 Kg. por día, que se deben acondicionar para su posterior reciclado y se ahorrarían 40% de energía por cada Ton que representan 579.101 KWh por día. En el sistema 3 se ahorrarían 26.728 KWh por día.

Para la fabricación de latas de aluminio, partiendo 5 toneladas de bauxita se obtiene una tonelada de aluminio y se consumen 18.000 KWh de energía eléctrica. Para una tonelada de aluminio reciclado son necesarias 1,1 Ton de aluminio que se funden a 600 °C se ahorran las 5 toneladas de bauxita y un 90% de energía eléctrica. (Del Val, 1993)

De la fracción metal se recolectarían 11.200 Kg. por día, que se deben acondicionar para su posterior reciclado. Considerando que por cada Ton aluminio reciclado se ahorra un 90% de energía, se ahorrarán 78.098 KWh por día. En el sistema 3 se ahorrarían 3.486 KWh por día.

La Tabla 5 se muestran las emisiones al aire y agua. Los porcentajes de sólidos totales (ST) y sólidos volátiles biodegradables (SVB) se consideraron como un porcentaje promedio anual de los correspondientes a cada estación del año. (Plaza et al, 1998).

EMISIONES AL AIRE Y AGUA								
Sis-tema	Población	Orgánico		ST	SVB	Biogás	Lixiviado	
	Nº Habits.	Ton/día	%	%	% ST	m <sup>3</sup> /día	litros/día	%
1	700.000	205,7	58,8	23	82,3	1.853,2	158.389,1	77
2	70.000	20,6	58,8	23	82,3	185,3	15.838,9	77
3	70.000	19,1	60,7	23	82,3	172,1	14.707	77

Tabla 5: Emisiones al agua y aire debido a la fracción orgánica.

El ProCyR contempla el tratamiento de unas 20,6 Ton/día de la fracción orgánica, aeróbico y anaeróbico, que evita el desprendimiento de 185,3 m<sup>3</sup>/día de biogás a la atmósfera, cuyo componente mayoritario es CH<sub>4</sub> reconocido como responsable del 20% del incremento del calentamiento global (Lashof y Ahuja, 1990), siendo del 7 al 20% del total de las emisiones de metano antropogénicas (Torneloe, 1991). Así, se evita emitir 15.838,9 litros/día de lixiviado al medio ambiente.

El sistema 3 es una modificación del ProCyR en lo que se refiere a los materiales con valor de mercado, pero mantiene el tratamiento biológico de la fracción orgánica debido a su importante incidencia de contaminación ambiental.

## CONCLUSIONES

La comparación de los sistemas analizados nos ha permitido, considerando las variaciones en el flujo de residuos, comparar los factores ambientales más importantes entre el sistema actual, el ProCyR original y el ProCyR modificado y actualizado.

Actualmente con el Sistema 1 en el cual no se realiza recuperación y tratamiento alguno se disponen 350 Tn/día a cielo abierto, con cobertura no diaria, ineficiente sistema de venteo del biogás y sin recolección ni tratamiento de lixiviado. Al implementar el Sistema 2 o 3, en su primera etapa, representaría una disminución de aproximadamente el 10% de residuo a disponer.

La aplicación del Sistema 2 o 3 permite una recuperación de material del flujo de residuos del orden del 30% en peso, con los correspondientes beneficios económicos y ambientales.

La diferencia principal entre el Sistema 2 y 3 radica en el uso y no uso de contenedores callejeros respectivamente, para la recolección de materiales con valor de mercado, lo que representa para el sistema 3 un menor costo tanto en el suministro de los contenedores como en la metodología de recolección.

La separación centralizada de los materiales inorgánicos reciclables tendrá menor rendimiento que en la separación en origen, por lo que los ahorros energéticos son menores al eliminar esta metodología en la primera etapa del Sistema 3.

La aplicación del Sistema 3 mantiene el criterio de gestión de la materia orgánica del ProCyR original (Sistema2) por lo que los beneficios ambientales y ahorro de espacio del relleno sanitario se mantienen, lo que resulta un aporte importante para revertir el estado actual del sitio de disposición final.

La disposición prevista en el Sistema 3 por método de relleno sanitario, da solución a la ineficiente operación del sitio de disposición final actual, cuyas características principales son: inadecuada compactación, sin respetar niveles de altura máxima y pendientes recomendadas o establecidos por las normas, dificultad para maniobrar la maquinaria por la presencia de recuperadores que hacen su tarea sobre la plataforma de descarga. La situación descripta ha causado accidentes fatales y graves problemas de salud en la comunidad de recuperadores por las condiciones inadecuadas de trabajo y la ingesta de alimentos en mal estado.

## ABSTRACT

This work is a part of the project called "Analysis of an Integral Solution for Minimizing, Treating and Final Disposal of Solid Home Waste of Mar del Plata City".

It was determined for each analyzed system the generated solid waste, fuel cost in transport and recollection, emissions to water, air and earth, recovering, energy saving by recycling materials and biological treatment.

The result of this work allowed to update and adopt the best options for the needs and priorities of Mar del Plata City, taking into account the regulation of the sanitary filling and the reduction of the emissions to air and water.

Key words: Solid Waste, Environmental management system, green house effect.

## REFERENCIAS

DelVal, Alfonso. (1993). Libro del Reciclaje. Integral Monográfico N° 25 Agpograf. Barcelona. España.

Jacob S., Menna M., "Proposal of Integrated Solid Waste Management for the city of Mar Del Plata-Argentina". Proceeding ISWA Wolrd Environment Congress & Exhibition. Estambul , Turquía, julio de 2002. En proceso de impresión.

Lashof, D. A. and Ahuja (1990), "Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warning", Nature 344, 529-531

Menna M., Jacob S., Plaza G., di Veltz H., Cid J.C., Pacheco O., "Household Solid Waste Sampling For Mar Del Plata City – Argentina", *Iswa Times*, Issue N° 3, 2001. ISSN-0906-1435.

Muñoz Sánchez, Alberto. (1980). Residuos sólidos Plásticos. CIFCA. Madrid.

Plaza G., Pacheco O., Scaroni E., Martearena M.R., Menna M., Jacob S.. "Gestión de la Fracción Orgánica de los Residuos Municipales de la Ciudad de Mar del Plata". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol 2, N° 2/1998, ISBN 0329-5184, pp. 7.5-8.5, Nov./1998.

Torneloe, S. A. (1991). US EPA's global climate change program-Landfill emissions and mitigation research, 3th International Landfill Symposium. Sardinia, pp. 51-68. 1991.

White, P., Franke, M and Hindle, P. (1995). "Integrated Solid Waste Management: A Lifecicle Inventory", Blackie Academic & Professional, first Edition, ISBN 07514 0046 7 , London.